



JC986 U.S. PTO
09/835293
04/13/01

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 100 18 298.4

Anmeldetag: 13. April 2000

Anmelder/Inhaber: DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Traunreut/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Schwingungsdetektion
bei einer Positionsmeßeinrichtung

IPC: G 01 B, G 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. Januar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A 9161
03/00
EDV-L

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

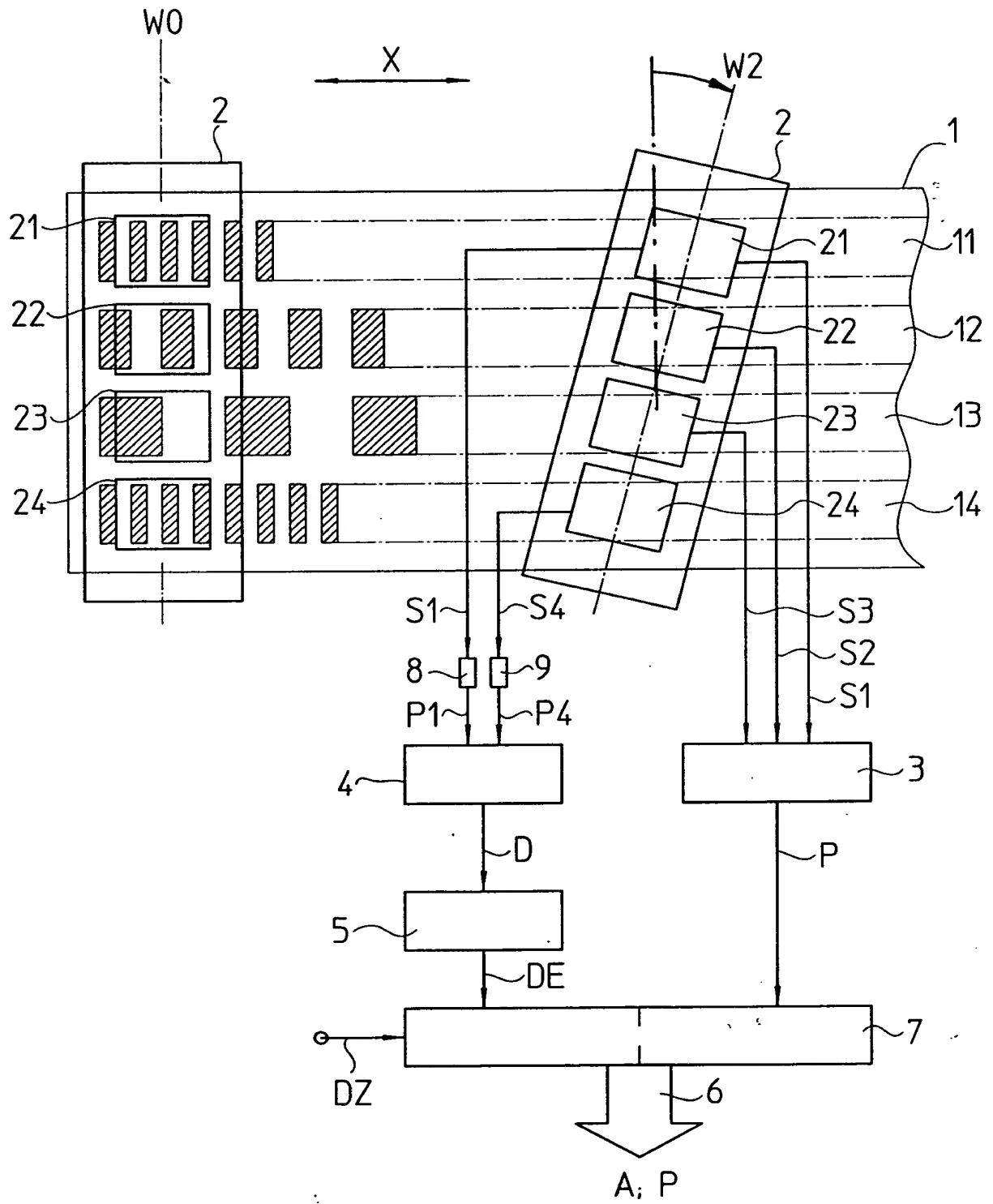
Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Schwingungsdetektion bei einer Positions-
meßeinrichtung

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, um bei einer Positionsmeßeinrichtung die Schwingung der Abtasteinrichtung (2) gegenüber einer Maßverkörperung (1) zu detektieren. Eine Schwingung macht sich durch schnelle Winkeländerungen der Abtasteinrichtung (2) bemerkbar.

- 5 Gemäß der Erfindung wird der zeitliche Verlauf der Winkellage (W1 bis W10, D1 bis D10) erfaßt und aus den Winkelwerten (W1 bis W10, D1 bis D10) eine Schwankungsbreite (DE) innerhalb eines Zeitraums bestimmt. Übersteigt die Schwankungsbreite (DE) einen vorgegebenen Wert (DZ), wird ein Warnsignal (A) ausgegeben, das auf einen Fehlbetrieb der Positionsmeßein-
- 10 richtung hinweist (Figur 1).



Verfahren und Vorrichtung zur Schwingungsdetektion bei einer Positionsmeßeinrichtung

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schwingungsdetektion bei einer Positionsmeßeinrichtung. Diese Schwingungsdetektion erfolgt durch Ermittlung der Winkeländerung einer Abtasteinrichtung gegenüber einer Maßverkörperung der Positionsmeßeinrichtung.

5

Eine Positionsmeßeinrichtung besteht aus einer Maßverkörperung und einer Abtasteinrichtung, welche relativ zur Maßverkörperung in Meßrichtung verschiebbar ist. Bei dieser Verschiebung werden durch Abtastung der Maßverkörperung positionsabhängige Meßsignale gebildet. Die Maßverkörperung besteht aus einer inkrementalen oder aus einer absoluten mehrspurigen Codeteilung. Bei der Abtastung einer absoluten mehrspurigen Codeteilung werden mehrere quer zur Meßrichtung nebeneinander angeordnete Teilungsspuren von mehreren ebenfalls nebeneinander angeordneten Abtaststellen abgetastet. Zur Bildung des momentanen absoluten Positionsmeßwertes werden die momentanen Abtastwerte aller Abtaststellen miteinander verknüpft. Eine derartige Positionsmeßeinrichtung ist beispielsweise aus der EP 0 555 507 B1 bekannt.

10

15

Zur fehlerfreien Positionsmessung sollte die Abtasteinrichtung ihre Relativausrichtung zur Maßverkörperung nicht ändern. Es hat sich aber gezeigt, daß sich die Ausrichtung der Abtasteinrichtung im Betrieb ändert. Man hat nun versucht, diese Änderung durch Messung der momentanen Winkellage
5 der Abtasteinrichtung zu ermitteln und den Positionsmeßwert in Abhängigkeit vom gemessenen Winkel zu korrigieren. Dieses in der EP 0 555 507 B1 beschriebene Verfahren führt aber nur bei relativ geringen Winkeländerungen zum Erfolg. Weiterhin sind Korrekturmaßnahmen nur erfolgreich, wenn die Winkeländerung innerhalb eines bestimmten Bereiches bleibt.

10

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, um den Verlauf der Winkeländerung einer Abtasteinrichtung gegenüber einer Maßverkörperung einer Positionsmeßeinrichtung zu überwachen, um einen Fehlbetrieb der Positionsmeßeinrichtung rechtzeitig zu erkennen.

15

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen insbesondere darin, daß nicht nur die momentane Winkellage der Abtasteinrichtung gegenüber einer Solllage ermittelt wird, sondern ein Maß für den zeitlichen Verlauf der Winkeländerung
20 erfaßbar wird. Aus diesem Maß für den zeitlichen Verlauf kann entschieden werden, ob die Positionsmessung als korrekt definiert wird oder trotz bekannter Korrekturmaßnahmen die Positionsmessung als fehlerhaft definiert wird. Mit dem Verfahren kann die maximale Größe der Winkeländerung, also
25 die Schwingungsamplitude und somit auch die Schwingungsfrequenz der Abtasteinrichtung detektiert werden. Aus dieser Größe kann auf die Ursachen der Schwingung (Vibration) geschlossen werden.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Positionsmeßeinrichtung
30 anzugeben, um den Verlauf der Winkeländerung einer Abtasteinrichtung gegenüber einer Maßverkörperung einer Positionsmeßeinrichtung zu ermitteln.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 9 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt. Es zeigt:

5

Figur 1 eine Längenmeßeinrichtung,

Figur 2 den zeitlichen Verlauf der Winkellage der Abtasteinrichtung der Längenmeßeinrichtung gemäß Figur 1 und

10

Figur 3 die Winkellagen der Abtasteinrichtung schematisch dargestellt.

15 In Figur 1 ist eine Längenmeßeinrichtung mit einem Maßstab 1 und einer Abtasteinrichtung 2 dargestellt. Der Maßstab 1 besitzt eine Maßverkörperung in Form mehrerer Teilungsspuren 11, 12, 13, 14, deren Gitterstriche in bekannter Weise quer zur Meßrichtung X verlaufen. Die Teilungsspuren 11, 12, 13 bilden in bekannter Weise einen absoluten Code zur absoluten Positionsmessung. Jede der Teilungsspuren 11 bis 14 wird von einer Abtast-
20 stelle 21 bis 24 zur Erzeugung jeweils eines positionsabhängigen Abtastsignals S1 bis S4 abgetastet. Zur Abtastung sind optische, magnetische, induktive oder kapazitive Abtastprinzipien einsetzbar.

25 Die Abtastsignale S1 bis S3 werden in bekannter Weise zu einem resultierenden absoluten Positionsmeßwert P verknüpft. Hierzu werden die Abtastsignale S1 bis S3 einer Verknüpfungsschaltung 3 zugeführt.

Aufgrund von Führungsfehlern, aber insbesondere aufgrund von Vibrationen
30 ändert sich während des Meßbetriebs laufend die Ausrichtung der Abtasteinrichtung 2 gegenüber dem Maßstab 1. Diese Änderung der Ausrichtung ist eine Winkeländerung bzw. Verkipfung der Abtasteinrichtung 2 um einen Winkel W gegenüber der Meßrichtung X. In Figur 1 sind zwei Winkellagen W0 und W2 der Abtasteinrichtung 2 dargestellt.

Die Drehachse, um die sich die Abtasteinrichtung 2 verdreht bzw. um die sie verkippt wird, ist eine Normale zur Oberfläche des Maßstabes 1, auf der die Maßverkörperung 11, 12, 13, 14 aufgebracht ist.

- 5 Aus der EP 0 555 507 B1 ist es bekannt, den Winkel W als Abweichung von der Sollage W0 zu ermitteln. Diese Ermittlung wird auch bei dieser Erfindung genutzt. Hierzu werden die beiden am feinsten geteilten und quer zur Meßrichtung X am weitest voneinander beabstandeten Teilungsspuren 11 und 14 verwendet, indem der Positionsmeßwert P1 aus dem Abtastsignal S1
10 mit dem Positionsmeßwert P4 aus dem Abtastsignal S4 in einer Differenzschaltung 4 verglichen wird. Die Differenz zwischen P1 und P4 ist ein Maß für den momentanen Winkel W.

- Gemäß der Erfindung wird nun nicht nur die Abweichung der Ausrichtung
15 von einer Sollage – also der Winkel W – ermittelt, sondern es wird ein Maß für die zeitliche Änderung des Winkels W erfaßt. Diese Maßnahme hat sich als vorteilhaft erwiesen, da eine gleichbleibende bzw. sich nur langsam ändernde Fehlausrichtung zu keinem bzw. zu einem relativ leicht zu korrigierenden resultierenden Positionsmeßwert P führt. Eine schnelle und auch
20 große Änderung der Ausrichtung aufgrund von Vibrationen während des Meßbetriebs kann aber zu einem fehlerhaften Positionsmeßwert P führen. Dieser Zustand muß also erkannt werden.

- Hierzu werden die Abtastsignale S1 und S4 der Abtaststellen 21 und 24 je
25 weils zeitgleich in aufeinanderfolgenden Abständen von Bruchteilen einer Sekunde, beispielsweise 1 msec erfaßt, die Positionsmeßwerte P1 und P4 daraus gebildet und für jeden Zeitpunkt die Differenz D der Positionsmeßwerte ($P4 - P1$) in der Differenzschaltung 4 gebildet. Aus einer vorgegebenen Anzahl – z.B. 10 – aufeinanderfolgender Differenzen D und somit innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne wird der Minimal- und Maximalwert
30 ermittelt und abgespeichert. Die Differenz DE aus den beiden Extremwerten Minimal-Differenzwert und Maximal-Differenzwert ist ein Maß für die Schwankungsbreite der Winkeländerung und somit ein Maß für die Vibration bzw. Schwingung der Abtasteinrichtung 2 gegenüber dem Maßstab 1.

Als Maß für den zeitlichen Verlauf der Winkellagen W stehen einem Anwender die abgespeicherten Extremwerte der Winkellagen W zur Verfügung. Diese Werte können als Zahlenwerte ausgegeben werden oder sie werden als Grenzwerte eines Balkens auf einer Balkenanzeige grafisch dargestellt.

5

Als Maß für den zeitlichen Verlauf der Winkellagen W kann zusätzlich oder alternativ aus den im Speicher 5 abgespeicherten Extremwerten die Schwankungsbreite DE berechnet werden und dem Anwender dieses Maß DE als Zahlenwert oder auch grafisch, beispielsweise als Balken, zur Verfügung gestellt werden. Es können auf einem Bildschirm auch gleichzeitig mehrere Werte der Schwankungsbreite DE für aufeinanderfolgende Zeitabschnitte angezeigt werden. Daraus kann der zeitliche Verlauf der Schwankungsbreite DE beobachtet werden.

10

15 Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein zulässiger Wert DZ für die Schwankungsbreite vorgegeben wird, und ein Warnsignal A ausgegeben wird, wenn der ermittelte Wert der Schwankungsbreite DE den vorgegebenen Wert DZ überschreitet.

20 Der aus den Abtastsignalen $S1$ bis $S3$ ermittelte resultierende absolute Positionsmeßwert P wird bei einer modernen Schnittstelle 7 bit-seriell auf einer Datenleitung 6 an eine Folgeelektronik, beispielsweise eine numerische Steuerung, geleitet. Bei einer derartigen Schnittstelle 7 besteht nun die Möglichkeit, das Warnsignal A oder die Extremwerte der Winkellagen W oder die
25 Schwankungsbreite DE ebenfalls seriell auf dieser Datenleitung 6 zur Folgeelektronik zu übertragen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn alle Komponenten 3, 4, 5, 7, 8 und 9 in der Abtasteinheit 2 integriert sind.

25

In Figur 2 sind die gemessenen Differenzwerte D , die proportional zu den
30 Winkelwerten W sind, in Abhängigkeit der Zeit t aufgetragen. Bei dem dargestellten Beispiel ist der detektierte Maximal-Differenzwert innerhalb 10 aufeinanderfolgender Positionsmessungen – also innerhalb einer Meßzeit t von 10 msec – mit $D2$ bezeichnet und der detektierte Minimal-Differenzwert

mit D6. Die Schwankungsbreite DE also die maximale Winkeländerung innerhalb der Meßzeit $t = 10 \text{ msec}$ beträgt somit $(D2 - D6)$.

5 In Figur 3 ist die gemessene Ausrichtung, also die Winkellage W der Abtasteinrichtung 2 in den zehn gemessenen Zeitpunkten von 0 bis 10 msec schematisch dargestellt.

Die Positionsmeßwerte P1 und P4 können direkt aus den Abtastsignalen S1 und S4 durch Vergleich der analogen Momentanwerte ermittelt werden, oder
10 digital durch Zähler 8 und 9. P1 und P4 sind dann die Zählerstände der Zähler 8 und 9. Zur Vereinfachung der Darstellung ist in Figur 1 jede Abtaststelle 21 und 24 nur schematisch dargestellt. In der Regel besteht ein derartiges Abtastfeld 21, 24 aus mehreren gegeneinander phasenverschobenen Teilfeldern zur richtungsabhängigen Zählung der erfaßten Inkremente bzw.
15 Interpolationswerte.

Zur Bestimmung des Winkelwertes D bzw. W sind im beschriebenen Beispiel zwei gleich geteilte Inkrementalspuren 11 und 14 vorgesehen. Die Winkelwerte können aber ebenso aus einer gemeinsamen Inkrementalspur
20 gemäß Figur 1 der EP 0 555 507 B1 oder aus unterschiedlich geteilten Inkrementalspuren gemäß Figur 2 der EP 0 555 507 B1 ermittelt werden. Bei unterschiedlich geteilten Inkrementalspuren ist es vorteilhaft, wenn beide Spuren derart interpoliert werden, daß die Abtastsignale die gleiche Auflösung besitzen, dann ist nämlich ein einfacher Vergleich von Zählerständen
25 möglich. Eine der Spuren kann auch eine serielle Codierung in Form eines Pseudo-Random-Codes, auch Kettencode oder Chain-Code genannt, aufweisen.

Das Maß DE, D2, D6, W2, W6 des zeitlichen Verlaufs der Winkellagen W1
30 bis W10 kann auch ein Anhaltspunkt für die Bearbeitungsgenauigkeit sein, da es ein Parameter für die Maschinenvibration ist.

Zur Ermittlung der Ursache der Vibration der Abtasteinrichtung 2 gegenüber dem Maßstab 1 ist es vorteilhaft, die Frequenz der Vibration bzw. Schwin-

gung zu detektieren. Hierzu werden aufeinanderfolgende Extremwerte der Winkellagen W , also die Differenzwerte D detektiert und die Zeit t_1 zwischen diesen Extremwerten ermittelt. Am Beispiel gemäß Figur 2 wird die Zeit t_1 zwischen dem Maximum D_2 und dem darauffolgenden Minimum D_6 ermit-

- 5 telt. Die Frequenz f ergibt sich dann aus $f = \frac{1}{2 \cdot t_1}$. Es ist auch möglich, die Zeit t_2 zwischen zwei Maximalwerten oder zwei Minimalwerten zu ermitteln. Die Frequenz f der Vibration der Abtasteinrichtung 2 ergibt sich dann aus $f = \frac{1}{t_2}$.

- 10 Mit der Erfindung ist es nun auch möglich, den Zeitpunkt der maximalen Vibration festzustellen. Es kann bei einer Bearbeitung eines Werkstücks mit einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine detektiert werden, bei welchem Bearbeitungsschritt welche Vibration auftritt. Aus diesen Kenntnissen können die Bearbeitungsparameter oder die Konstruktion der Werkzeugma-
- 15 schine einschließlich der Positionsmeßeinrichtung optimiert werden.

Patentansprüche

=====

1. Verfahren zur Ermittlung der Winkeländerung einer Abtasteinrichtung (2) gegenüber einer Maßverkörperung (1) einer Positionsmeßeinrichtung durch Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Winkellagen (W1 bis W10, D1 bis D10) der Abtasteinrichtung (2) und Ermitteln eines Maßes (DE; D2, D6, W2, W6) für den zeitlichen Verlauf daraus.
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Maß des zeitlichen Verlaufs der Winkeländerung die Extremwerte (D2, D6, W2, W6) der Winkellagen (W1 bis W10, D1 bis D10) ist oder die aus den Extremwerten (D2, D6, W2, W6) gebildete Schwankungsbreite (DE) der Winkellagen (W1 bis W10, D1 bis D10) ist.
10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
15
 - a) zeitgleiches Erfassen eines ersten Positionsmeßwertes (P1) aus einer ersten Abtaststelle (21) und Erfassen eines zweiten Positionsmeßwertes (P4) aus einer zweiten Abtaststelle (24) der Abtasteinrichtung (2);
 - b) Bildung der Differenz (D1 bis D10) der zeitgleich erfaßten Positionsmeßwerte (P1, P4) beider Abtaststellen (21, 24);
20
 - c) mehrmaliges Wiederholen der Schritte a) und b) zur Bildung mehrerer Differenzwerte (D1 bis D10) und
 - d) Bildung einer Schwankungsbreite (DE) als Maß für den zeitlichen Verlauf der Winkeländerung aus mehreren aufeinanderfolgenden Differenzwerten (D1 bis D10).
25

4. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch die Ermittlung der Minimal- und Maximal-Differenzwerte (D2, D6) aus mehreren aufeinanderfolgenden Differenzwerten (D1 bis D10) und Bildung der Differenz (DE) zwischen dem Minimal- und Maximal-Differenzwert (D2, D6) als Schwankungsbreite (DE).
5
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch die Abspeicherung des Minimal-Differenzwertes (D6) und des Maximal-Differenzwertes (D2) aus mehreren aufeinanderfolgenden Differenzwerten (D1 bis D10).
10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Warnsignal (A) gebildet wird, wenn die Schwankungsbreite (DE) einen vorgegebenen Wert (DZ) überschreitet.
15
7. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch das Aufsuchen aufeinanderfolgender Extremwerte (D2, D6) aus den Differenzwerten und Ermittlung der Zeit (t1) zwischen der Erfassung dieser Extremwerte (D2, D6).
20
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Zeit (t1) zwischen einem Minimal- und Maximal-Differenzwert (D2, D6) die Schwingfrequenz (f) der Abtasteinrichtung (2) gegenüber der Maßverkörperung (1) ermittelt wird.
25
9. Positionsmeßeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Auswerteeinheit (4, 5), welche einen ersten Baustein (4) zur Ermittlung der Winkellagen (W1 bis W10, D1 bis D10) und einen zweiten Baustein (5) zur Ermittlung eines Maßes (DE) für den zeitlichen Verlauf aus mehreren Winkellagen (W1 bis W10, D1 bis D10) aufweist.
30
10. Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Baustein (5) einen Speicher aufweist, in dem die Ex-

tremwerte (D2, D6) aus mehreren aufeinanderfolgenden Winkelwerten (W1 bis W10, D1 bis D10) abgespeichert sind.

- 5 11. Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Abtaststellen (21, 24) in der Abtasteinrichtung (2) zur Abtastung der Maßverkörperung (1) und zur Bildung von Positionsmeßwerten (P1, P4) vorgesehen sind, und daß der Auswerteeinheit (4, 5) die Positionsmeßwerte (P1, P2) zugeführt werden und diese derart verarbeitet, daß am Ausgang ein Maß (DE) für den zeitlichen Verlauf der Winkellage (W1 bis W10, D1 bis D10) ansteht.
- 10 12. Positionsmeßeinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit (4, 5) in der Abtasteinrichtung (2) integriert ist.
- 15 13. Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßverkörperung (1) zwei quer zur Meßrichtung X voneinander beabstandete Teilungsspuren (11, 14) aufweist und jeweils eine der Abtaststellen (21, 24) einer dieser Teilungsspuren (11, 14) zugeordnet ist.
- 20

FIG. 1

1/2

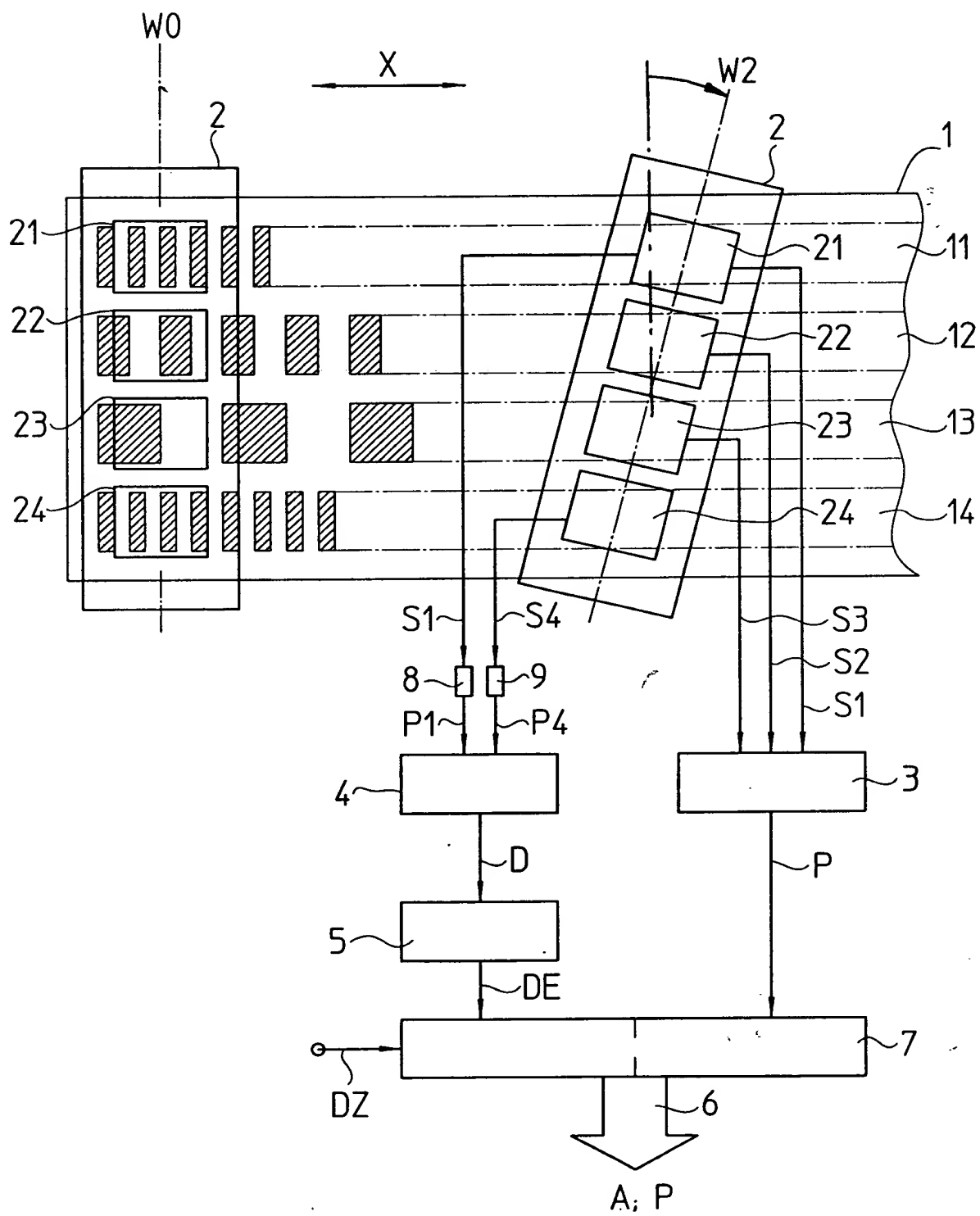


FIG. 2

2/2

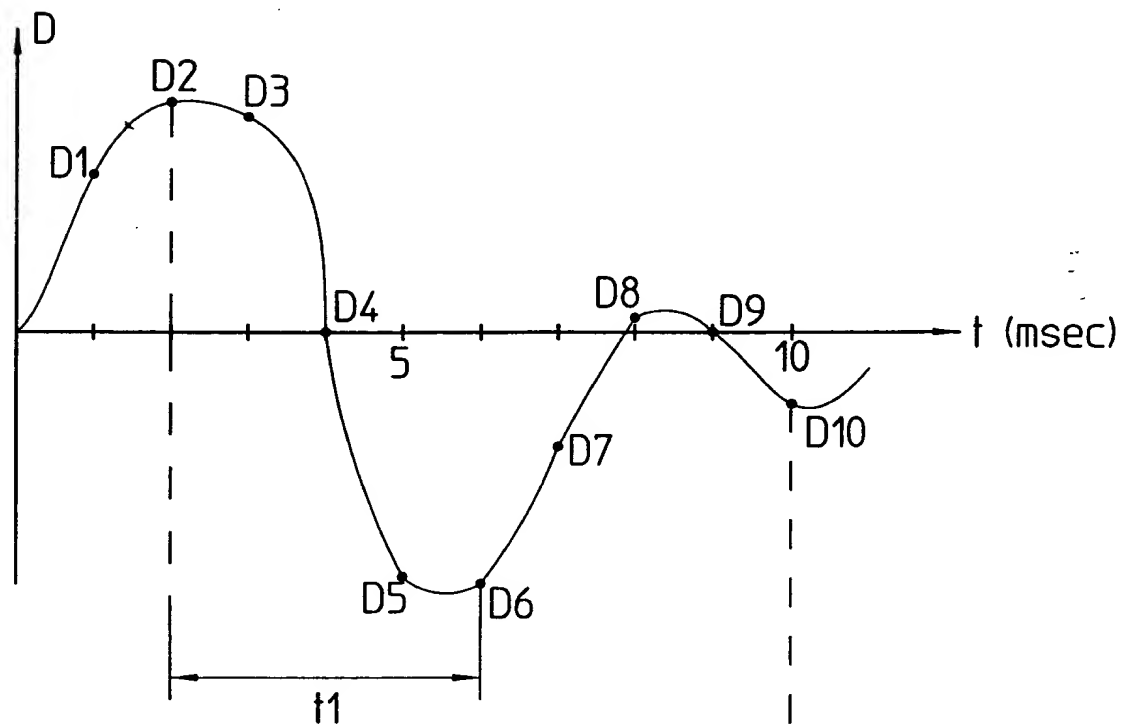


FIG. 3

